

УДК 621.311
Код ВАК 05.20.02

DOI: 10.52463/22274227_2021_38_76

В.И. Чарыков, Ф.Р. Фахргалеев, В.А. Новикова

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СИММЕТРИРОВАНИЯ НАГРУЗКИ
В СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «КУРГАНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ
АКАДЕМИЯ ИМЕНИ Т.С. МАЛЬЦЕВА», КУРГАН, РОССИЯ

V.I. Charykov, F.R. Fakhrigaleev, V.A. Novikova

DIGITALIZATION OF THE LOAD SYMMETRIZATION PROCESS IN RURAL ELECTRIC NETWORKS
FEDERAL STATE BUDGETARY EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION «KURGAN STATE
AGRICULTURAL ACADEMY NAMED AFTER T.S. MALTSEV», KURGAN, RUSSIA**Виктор Иванович Чарыков**

Viktor Ivanovich Charykov

доктор технических наук, профессор

AuthorID: 778355

Viktor52-CHIMESH@yandex.ru

Фаниль Раильевич Фахргалеев

Fanil Railevich Fakhrigaleev

AuthorID: 972645

fanil_1mex@mail.ru

Валентина Александровна Новикова

Valentina Alexandrovna Novikova

кандидат технических наук, доцент

AuthorID: 717477

Novikova1959@yandex.ru

Аннотация. Развитие промышленности и распространение бытовой электроники приводят к постоянному увеличению мощностей электропотребления, что является актуальной проблемой как для крупных городов, так и для сельских поселений. Сельские поселения, в свою очередь, за последние годы по требованиям к надёжности их электроснабжения приблизились к промышленным потребителям. Показано, что особенностью электроснабжения сельскохозяйственных потребителей является возникновение несимметричных режимов работы электрической системы. **Целью научного исследования** является изменение логики процесса симметризации нагрузки и переход на управление на основе цифровых технологий. **Методика.** Для получения симметричной нагрузки в трёхфазной четырёхпроводной сети нами разработан симметризатор тока на базе цифровой технологии. Разработанный симметризатор фазного тока представляет собой цифровое устройство для выравнивания фазных токов и устранения их несимметрии в четырёхпроводной трёхфазной сети. **Результат.** Устройство переключает однофазные нагрузки между тремя фазами для достижения равномерного распределения ее на трёхфазную сеть с возможностью мониторинга работы и управления системой через автоматизированное рабочее место оператора. В работе изложена конструкция устройства, приведены структурная схема устройства и структурные схемы активного и пассивного модулей, входящих в предлагаемое устройство. Также изложен алгоритм работы симметризатора, где показано, что ключевым элементом схемы является активный модуль, который обеспечивает выполнение функций программного анализа показаний датчиков тока, регистрации переключения однофазных потребителей между фазами трёхфазной сети и отправления данных в пассивный модуль. **Научная новизна.** Результаты научного исследования показывают, что цифровая система позволяет существенно увеличить оперативность работы симметрирования фазных токов трёхфазной четырёхпроводной сети. Преимуществом разработанной схемы является не только достижение высокой скорости переключения однофазной нагрузки между фазами трёхфазной сети, но и наличие положительного экономического эффекта от повышения качества электроэнергии.

Ключевые слова: цифровая технология, несимметричная нагрузка, активный модуль, модем, преобразователь, структурная схема.

Abstract. The development of industry and the spread of consumer electronics leads to a constant increase in power consumption capacities, which is relevant both for large cities and rural settlements, which in recent years have approached industrial consumers in terms of the reliability of their electricity supply. It is shown that the peculiarity of power supply to agricultural consumers is the emergence of asymmetric operating modes of the electric system. **The purpose of the work** is to change the logic of the load symmetry process and switch to digital-based control. **Methodology.** To obtain a symmetrical load in a three-phase four-wire network, a current symmetrizer based on digital technology has been developed. The developed phase current symmetrizer is a digital device for leveling phase currents and eliminating their asymmetry in a four-wire three-phase network. **Results.** The device switches single-phase loads between three phases to achieve a uniform distribution of it on a three-phase network with the ability to monitor the operation and control the system through an automated operator workstation. The work describes the design of the device, the structural diagram of the device and the structural diagrams of the active and passive modules included in the proposed device. The algorithm of the symmetrizer operation is described, where it is shown that the key element of the circuit is the active module, which provides the functions of programmatic analysis of the readings of current sensors, recording the switching of single-phase consumers between the phases of the three-phase network and sending data to the passive module. **Scientific novelty.** So far, it is known that the digital system allows you to significantly increase the efficiency of the operation of symmetry of phase currents of a three-phase four-wire network. The advantage of the developed scheme is not only the achievement of a high speed of switching the single-phase load between the phases of the three-phase network, but also the presence of a positive economic effect from improving the quality of electricity.

Keywords: digital technology; unbalanced load; active module; modem; converter; structural scheme.

Введение. Развитие промышленности и распространение бытовой электроники приводит к постоянному увеличению мощностей электропотребления, что является актуальным как для крупных городов, так и для сел, а также поселков городского типа, что за последние годы по требованиям к надёжности их электроснаб-

жения приблизились к промышленным потребителям [1-3]. Сельскохозяйственные потребители на сегодняшний день имеют на своем балансе значительное количество линий электропередачи, трансформаторных подстанций, электродвигателей и других производственных электроустановок (рисунок 1).

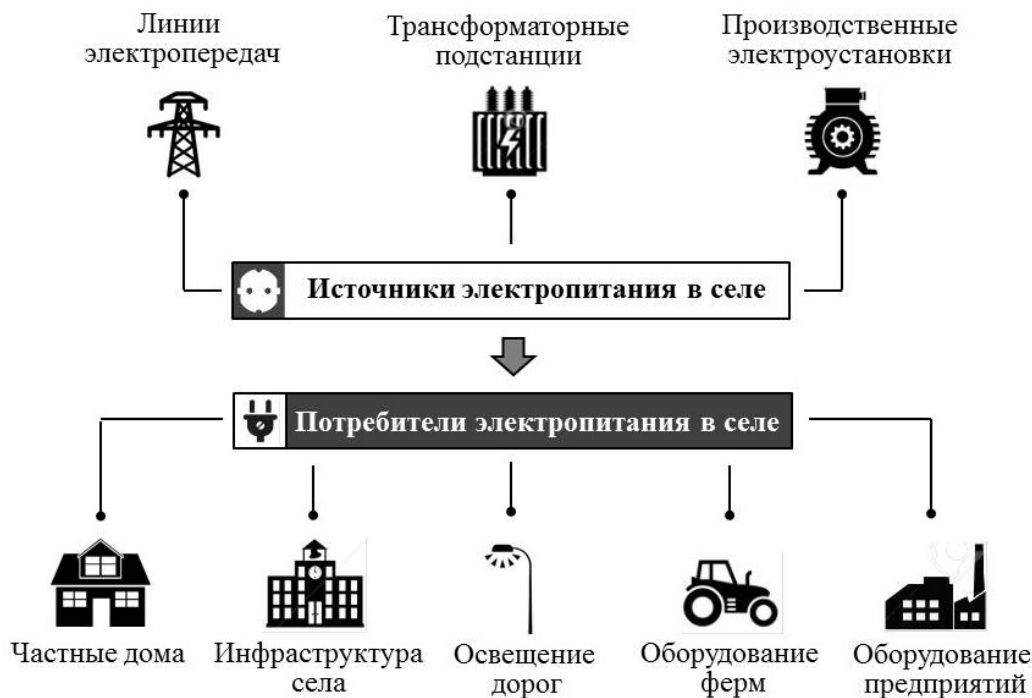


Рисунок 1 – Схема электроснабжения сельскохозяйственных потребителей

Особенностью электроснабжения в сельской местности является возникновение несимметричных режимов работы электрической системы, которые зачастую связаны с неравномерностью распределения нагрузок по фазам, с применением в сельскохозяйственном секторе высокомоощных однофазных электроприемников. Несимметричный режим обусловлен различными условиями работы фаз [4-6].

Цель исследования – разработка циф-

ровой системы симметризации фазных токов, которая позволяет существенно увеличить оперативность работы устройств для симметрирования фазных токов трёхфазной четырёхпроводной сети.

Методика. Предлагается цифровое устройство для выравнивания фазных токов и устранения их несимметрии в четырёхпроводной трёхфазной сети (рисунок 2). Устройство переключает однофазные нагрузки между тремя

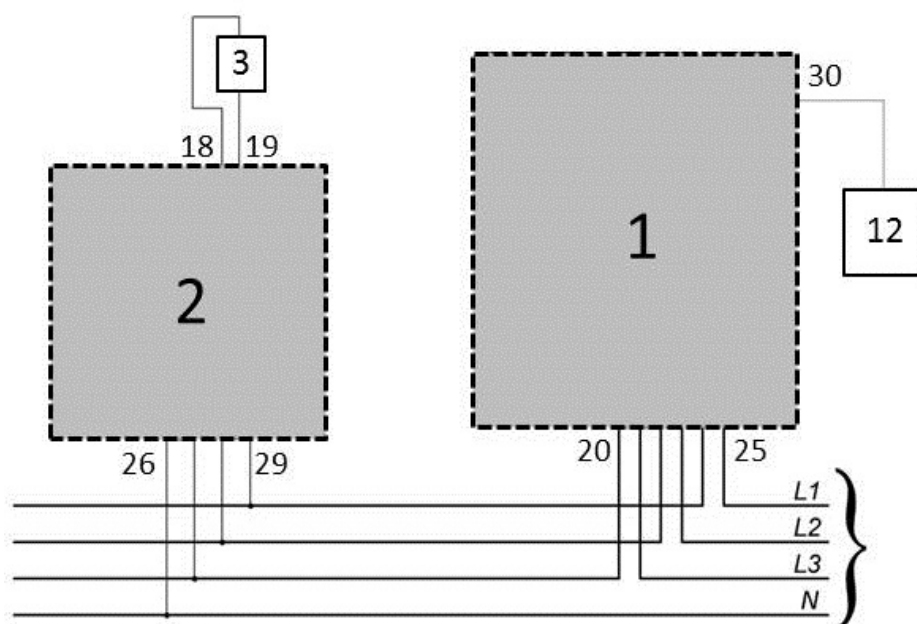


Рисунок 2 – Общая схема цифровизированного симметризатора

фазами для достижения равномерного распределения ее на трёхфазную сеть с возможностью мониторинга работы и управления системой через автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора. Данная задача решается за счет того, что предлагаемое цифровое устройство имеет несколько модулей, отвечающих за симметрирование фазных токов [7].

Ключевым элементом схемы является активный модуль (рисунок 3), который обеспечивает выполнение функций программного анализа показаний датчиков тока, регистрации переключения однофазных потребителей между фазами трёхфазной сети и отправления данных в пассивный модуль.

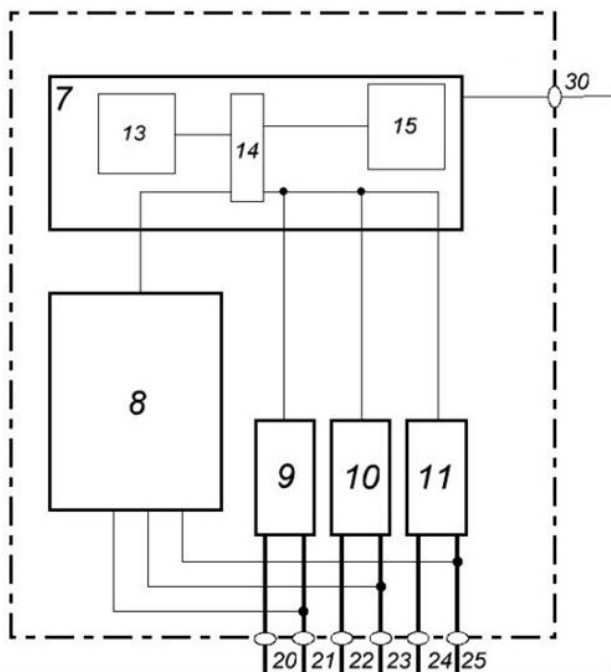


Рисунок 3 – Активный модуль симметризатора токов

В свою очередь пассивный модуль отвечает за обработку данных, отправляемых активным модулем, и перераспределение однофазной нагрузки (рисунок 4).

Технический результат и эффективность работы системы достигается за счет:

- использования PLC технологии (Power line communication) для связи между пассивным и активным модулями (увеличение скорости устранения несимметрии);
- улучшения качества электроэнергии, поставляемой однофазному потребителю за счёт пофазного перераспределения на-

- грузки;
- использования в качестве коммутационных элементов симисторов для моментального перераспределения нагрузки и отсутствия скачков напряжения;
- повышения надёжности оборудования из-за отсутствия электромеханических изделий в симметризаторе;
- возможности мониторинга работы системы устройств на расстоянии с использованием АРМ;
- использования внутренней памяти симметризатора для регистрации перераспределения нагрузки [7].

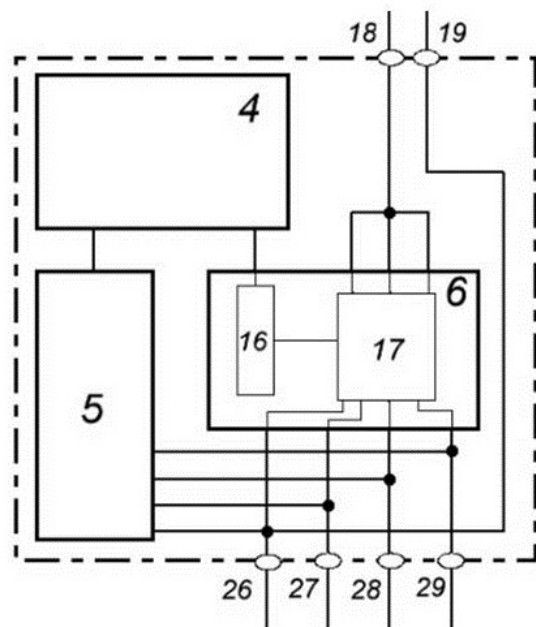


Рисунок 4 – Пассивный модуль симметризатора токов

Результаты. Результатом внедрения данной схемы является повышение оперативности устройства – симметризатора фазных токов трёхфазной четырёхпроводной сети. При этом достигается реализация высокой скорости перераспределения однофазных потребителей, а также исключаются резкие скачки напряжения.

Следует отметить, что в устройстве предусмотрено перераспределение однофазных потребителей между фазами сети оператором в режиме фактического времени [8].

Схема устройства, реализующего данный алгоритм, приведена на рисунках 1-3. Также на схеме показан способ подключения однофазной

нагрузки к трёхфазной четырёхпроводной линии.

Датчики для контроля над фазными токами 9-11 находятся в блоке 1. PLC модем (Power line communication), блок 8 служит для связи блоков 1 и 2 по линии электропередачи. Блок 7 позиционируется как центральная плата, где 13 – встроенные часы фактического времени, 15 – UART преобразователь (Universal asynchronous receiver/transmitter). Работа блока базирована на применении AVR микроконтроллера 14 и его добавочной обвязки. АРМ оператора, блок 12, подключается через разъём 30. Выводы 20-25 активного модуля служат для подключения трёхфазной сети к датчикам контроля тока и PLC модему.

Пассивный модуль 2 (рисунок 2) выполняет функцию переключения однофазной нагрузки между фазами. В него входят симисторный блок коммутации 6, представляющий собой схему из трёх симисторов 17, управляемый через опторазвязку 16 контроллером 4. Задача PLC модема 5 – прием и передача информации. Для подключения однофазной нагрузки используются выводы 18 и 19 (блок 3 на рисунке 2). Подключение к трехфазной сети осуществляется через выводы 26-29 (рисунок 2).

Базовый алгоритм работы устройства следующий: блок 1 активного модуля регистрирует ток, который протекает по фазам с помощью трансформаторов тока 9-11. В основе работы ТТ (трансформаторов тока) лежит эффект Холла. Аналоговый сигнал о протекающих в фазах токах поступает на микроконтроллер 14. Аналого-цифровой преобразователь после программной обработки выводит показания оператору. Связь между АРМ оператора 12 и активным модулем осуществляет преобразователь USB-UART 15. Часы фактического времени 13 регистрируют время переключений нагрузок между фазами. Задача PLC модема 8 заключается в поддержании связи между активным и пассивным модулями по ЛЭП. Следует отметить, что к активному модулю возможно подключение от 1 до 125 пассивных модулей. Это достигается за счет того, что каждому из устройств присваивается уникальный адрес, который в дальнейшем используется для управления определённым пассивным модулем для устранения несимметрии фазных токов.

В результате выполненных исследований по созданию цифровой автоматизированной системы симметрирования фазных токов разработано устройство – симметризатор тока. Определены требования к функциональным возможностям и техническим характеристикам устройства. Обоснована структурная схема симметризатора, выполнен монтаж, и проведены эксплуатационные испытания.

Внедрение данного устройства позволит сократить объем и время на обслуживание элементов сети посредством применения технологии полной дистанционной наблюдаемости и управляемости. При массовом применении симметризатора возможно сокращение численности оперативно-технологического персонала на подстанции [9, 10].

Выводы. Разработана цифровая система симметрирования фазных токов, которая позволяет существенно увеличить оперативность работы устройств для симметрирования фазных токов трёхфазной четырёхпроводной сети. Преимуществом разработанной схемы является достижение высокой скорости переключения однофазной нагрузки между фазами трёхфазной сети при любых уровнях несимметрии, исключая перепады напряжения. Также, следует отметить наличие положительного экономического эффекта от повышения качества электроэнергии. Эта составляющая соизмерима с получением экономического эффекта от снижения потерь мощности.

Список литературы

- 1 Левин М.С., Мурадян А.Е., Сырых Н.Н. Качество электрической энергии сельских районов. М.: Энергия, 1975. 224 с.
- 2 Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. М.: Энергоатомиздат, 2000. 252 с.
- 3 Косоухов Ф.Д. Снижение потерь и повышение качества электрической энергии в сельских сетях 0,38 кВ // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2014. № 6. С. 16-20.
- 4 Чарыков В.И., Соколов С.А., Фахргалеев Ф.Р. Выбор эффективной защиты электрических сетей напряжением до 1кВ: дискуссия на заданную тему // Успехи современной науки. 2016.

Т. 2. № 10. С. 140-147.

5 Чарыков В.И., Новикова В.А., Фахргалеев Ф.Р. Эффективность транспорта электроэнергии (на примере района электрических сетей) // Актуальные проблемы энергетики АПК: материалы 7-й Международной научно-практической конференции. Саратов: СГАУ, 2016. С. 244-248.

6 Лютаевич А.Г., Доненгер С.Ю., Горюнов В.А., Хадевский К.В. Вопросы моделирования устройств обеспечения качества электрической энергии // Омский научный вестник. 2013. № 1. С. 168-173.

7 Газиев А.Х., Чарыков В.И., Яковлев А.И. Методика анализа статических режимов сложных цепей при помощи аппарата параметрических структурных схем // Достижения науки – агропромышленному производству: материалы LIII Междунар. научн. техн. конф. Челябинск: ЧГАА, 2014. С. 275-278.

8 Наумов И.В., Иванов Д.А. Симметрирующее устройство для трехфазной четырехпроводной сети с регулируемыми параметрами // Вестник КрасГАУ. 2007. № 4. С. 191-194.

9 Наумов И.В., Лукина Г.В., Сукьясов С.В., Подъячих С.В. Методика расчета показателей несимметрии токов и напряжений в сети 0,38 кВ с симметрирующим устройством // Ползуновский вестник. 2001. № 2. С. 49-56.

10 Сюй Лэй, Дун Сюэпэн. Опыт внедрения цифровых подстанций в Китае // Релейная защита и автоматизация. 2012. № 2. С. 72 – 76.

List of references

1 Levin M.S., Muradyan A.E., Stryh N.N. Quality of electric energy in rural areas. M.: Energy, 1975. 224 p.

2 Zhezhelenko I.V., Saenko Yu.L. Indicators of electricity quality and their control at industrial enterprises. M.: Energoatomizdat, 2000. 252 p.

3 Kosoukhov F.D. Reducing losses and improving the quality of electric energy in rural networks 0.38 kV // Mechanization and electrification of agriculture. 2014. № 6. Pp. 16-20.

4 Charykov V.I., Sokolov S.A., Fakhr-galeev F.R. Choice of effective protection of electrical networks with voltage up to 1kV: discussion on a given topic // Modern science success. 2016. Т. 2. № 10. Pp. 140-147.

5 Charykov V.I., Novikova V.A., Fakhr-galeev F.R. Efficiency of electric power transport (using the example of the electric networks district) // Current problems of energy in the agro-industrial complex: materials of the 7th International Scientific and Practical Conference. Saratov: SGAU, 2016. Pp. 244-248.

6 Lyutarevich A.G., Donenger S.Yu., Goryunov V.A., Khadevsky K.V. Questions of modeling devices for ensuring the quality of electric energy // Omsk scientific bulletin. 2013. № 1. Pp. 168-173.

7 Gaziev A.Kh., Charykov V.I., Yakovlev A.I. Methods of analysis of static modes of complex chains using the apparatus of parametric structural schemes // Achievements of science – agro-industrial production: materials of the LIII International Scientific and Technical Conference. Chelyabinsk: CHGAA, 2014. Pp. 275-278.

8 Naumov I.V., Ivanov D.A. Symmetrical device for a three-phase four-wire network with adjustable parameters // The Bulletin of KrasGAU. 2007. № 4. Pp. 191-194.

9 Naumov I.V., Lukina G.V., Sukyasov S.V., Podyachykh S.V. Methodology for calculating the non-symmetry of currents and voltages in a 0.38 kV network with a balancing device // Polzunovsky vestnik. 2001. № 2. Pp. 49-56.

10 Syuj Lej, Dun Syuepen. Experience in implementing digital substations in China // Relay Protection and Automation. 2012. № 2. Pp. 72-76.